

激甚災害級の降雨事例における降水予報モデルの精度検証

－数時間～数日先の予測降水量について－

○ [土] 大西 瑞紀（東日本旅客鉄道株式会社）

遠藤 理（一般財団法人日本気象協会）

[土] 佐藤 大輔（東日本旅客鉄道株式会社）

[土] 鈴木 博人（東日本旅客鉄道株式会社）

Accuracy verification of the precipitation forecast model in the case of Severe disaster-grade rainfall

－About the predicted precipitation in the hours to days ahead－

○ Mizuki Onishi, (East Japan Railway Company) Satoru Endo, (Japan Weather Association)
Daisuke Sato, (East Japan Railway Company) Hiroto Suzuki, (East Japan Railway Company)

In the case of severe disaster-grade rainfall, the accuracy was verified by comparing the predicted precipitation of the precipitation forecast model from several hours to several days ahead with the measured value of the precipitation observed by the rain gauge. For the measured values, a railway rain gauge was used for rainfall cases that occurred in the area of JR East, and an AMeDAS rain gauge was used for other cases.

キーワード：鉄道，豪雨災害，予測降水量，雨量計の値，精度検証

Key Words：railway, heavy rain disaster, predicted precipitation, rain gauge value, accuracy verification

1. はじめに

鉄道事業者は、近年、大型の台風等が接近・上陸する場合等に、事前に予告した上で大規模に列車の運転を取りやめる計画運休を行っている。また、大雨が予想される場合には、線区単位程度で計画的に列車の運転を取りやめることもある。現在、このように列車の運転を取りやめる際には、気象会社等の予測情報を基に運休の判断をおこなっている。一方で、気象庁では予測先時間や解像度別に複数の降水予報モデルを配信しており、降水予報モデルの種類が増加するとともに、予測先時間も長くなっている。列車の運転の取りやめの判断に、降水予報モデルを活用し、数時間～数日先の降雨状況を精度高く把握できれば、より適切かつスムーズに列車の運転の取り止めの判断が可能となり、安全性やサービスの向上が期待できる。

そこで、本研究では台風事例や、梅雨前線や大気不安定による激甚災害級の大雨も対象に、気象庁の降水予報モデルの精度検証をおこなった。予測精度の検証は、降水予報モデルの数時間～数日先までの予測降水量と、雨量計で観測された降水量の実測値とを比較することで、気象庁が配信する 7 種類の降水予報モデルの予測降水量を対象におこなった。また、降水量の実測値については、東日本旅客鉄道株式会社（以下、JR 東日本とする）管内の地域で発

生した大雨事例については鉄道雨量計のデータを、それ以外の事例は気象庁のアメダス雨量計のデータを用いた。なお、予測精度は JR 東日本が運転規制で採用している実効雨量¹⁾に換算し、検証をおこなった。

2. 解析に使用するデータ

2.1 検証対象降雨

検証対象とする降雨には、近年、鉄道に被害を及ぼした激甚災害級の大雨として表 1 に示す台風 2 事例、大気不安定 1 事例、梅雨前線 1 事例の 4 事例を抽出した。なお、検証対象期間については、検証対象事例の降雨期間を基本として設定した。

2.2 予測降水量データ

予測降水量データには、気象庁が配信する降水予報モデルのうち、表 2 に示す数時間～数日先の予測が可能な 7 種類の降水予報モデルの予測降水量²⁾を使用した。なお、降

表 1 検証対象降雨

降雨事例	概要	原因	雨量計数	対象期間
平成25年8月 秋田・岩手豪雨	秋田新幹線 等で被害	大気 不安定	57	2013/08/05 ～08/16
平成26年 台風11号・12号	西日本全域 で被害	台風	50	2014/07/30 ～08/13
平成29年7月 九州北部豪雨	福岡県等 で被害	梅雨 前線	50	2017/07/03 ～07/13
令和元年 台風19号	新幹線 車両基地 等で被害	台風	112	2019/10/10 ～10/17

水予報モデルは、それぞれ配信を開始した時期が異なる。そのため、検証対象の災害事例が発生した時期において配信されていた降水予報モデルについて精度検証をおこなった。なお、使用する予測値については、検証対象の雨量計の地点が含まれる格子の予測値を使用した。

2.3 雨量計データ

(1) 鉄道雨量計データ

検証の対象にした大雨事例のうち、JR 東日本管内で発生した大雨の2事例については、JR 東日本が設置している雨量計の降水量データを使用した。検証対象とする雨量計については、検証対象降雨の降雨期間内において、雨量計ごとに設定された警戒基準値を超過した雨量計のデータを使用した。使用した雨量計は、表1に示すように57地点と112地点である。

(2) アメダス雨量計データ

検証の対象にした大雨事例のうち、JR 東日本管外の地域で発生した大雨の2事例については、気象庁のアメダス雨量計の降水量データを使用した。検証対象とする雨量計については、各降雨事例の降雨期間内において、降雨範囲に設置されているアメダス雨量計のうち、期間中の総降水量が多い上位50地点のデータを使用した(表1)。

3. 解析方法

3.1 実効雨量の算出

JR 東日本の在来線では、降雨時の列車運転規制に用いる雨量指標に、半減期1.5、6、24時間実効雨量を用いている¹⁾。そのため、本研究の検証には実効雨量を用いた。予測降水量データ(以下、予測雨量とする)と雨量計データ(以下、実測雨量とする)から、半減期1.5、6、24時間実効雨量を算出した上で検証を実施した。

3.2 精度検証方法

予測雨量の精度検証は図1に示すように、各降水予報モデルの配信時刻ごとに、6時間先、12時間先、それ以降は12時間おきに、降水予報モデルの最大予測先時間までの精度検証を行った。

精度の評価は、次式で示す統計指標である回帰係数 a 、相関係数 r 、総雨量比 S 、RMSEにより評価を行った。

$$a = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i)^2}}, \quad r = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}}$$
$$S = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{\sum_{i=1}^N x_i}, \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{x})^2}$$

表2 検証対象とする降水予報モデル

降水予報モデル	最大予測先時間	格子間隔	更新間隔	提供開始年	特徴
降水短時間予報	6時間	1km	30分	1988	実況値と数値予報を組み合わせた局地的強雨を予測
降水15時間予報	15時間	5km	1時間	2018	LFMとMSMを組み合わせた予測
局地数値予報モデル(LFM)	10時間	2km	1時間	2014	数時間先の局地的大雨の予測が可能
メソ数値予報モデル(MSM)	39時間	5km	3時間	2001	数時間～1日程度先の大雨の予測が可能
メソ数値予報モデルガイダンス(MSMガイダンス)	39時間	5km	3時間	2014	MSMの予測結果から統計的誤差を修正
メソアンサンブル数値予報モデル(MEPS)	39時間	5km	6時間	2019	MSMの予測結果に摂動を与え21パターンの予測を算出
全球数値予報モデルガイダンス(GSMガイダンス)	84時間	20km	6時間	2010	地球規模での気象変化を予測

なお、ここで x_i は実測雨量、 y_i は予測雨量、 $\bar{x}$ は実測雨量平均値、 $\bar{y}$ は予測雨量平均値、 N は全データ数を表している。

また、予測雨量については、降水予報モデルの予測開始時刻までの実測雨量とそれ以降の予測雨量から実効雨量値を算出した。

4. 解析結果

4.1 実測雨量と予測雨量の差異

(1) 台風の場合

図2には、台風が原因の大雨事例である平成26年台風11号・12号と令和元年台風19号の場合に対して、降水短時間予報による半減期1.5時間実効雨量の6時間先予測と、MSMによる半減期24時間実効雨量の24時間先予測について、実測雨量と予測雨量の関係を示す。なお、図中には、実測雨量と予測雨量が一致する傾き1の直線を示した。この直線より左上にプロットされるケースは予測雨量が実測雨量よりも多く、右下にプロットされるケースは実測雨量が予測雨量よりも多いことを示している。

図2によると、実測雨量と予測雨量が一致する傾き1の直線付近にプロットされるケースが多くみられる。他の降水予報モデル、実効雨量の半減期、および予測先時間の場合の図示は省略するが、散布図のばらつきは概ね図2と同じような結果になっている。このことから、台風の場合には実測雨量と予測雨量に大きな差がない場合が多く、予測が大きく外れることが少なく降水予報モデルの予測精度が安定していると考えられる。

また、図2(a)の半減期1.5時間実効雨量の予測雨量に比べて、図2(b)の半減期24時間実効雨量の予測雨量の方が散布図のばらつきが少なく、予測精度が安定している。これは、実効雨量の半減期が長いほど、降水量の時間スケールが大きくなることが予測精度に影響していると考えられる。

(2) 前線や大気不安定の場合

図3には、大気不安定が原因である平成25年秋田・岩手豪雨と、梅雨前線が原因である平成29年九州北部豪雨について、図2の台風の場合と同様の降水予報モデル・雨量指標・予測先時間における検証結果を示す。

図3によると、台風が原因の大降雨事例と比べて、傾き1の直線付近にプロットされるケースが少なく、実測雨量と予測雨量に差があるケースが多い。他の降水予報モデル、実効雨量の半減期、および予測先時間の場合の図示は省略

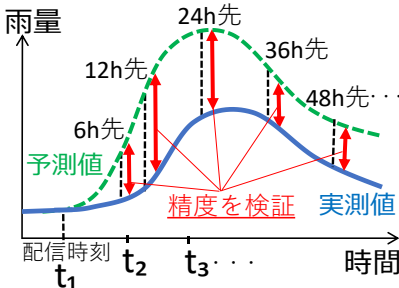
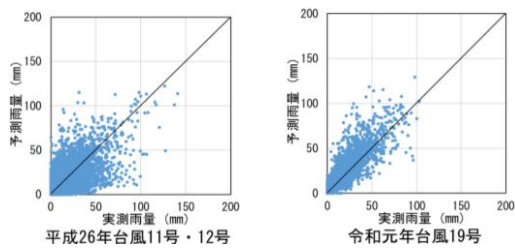
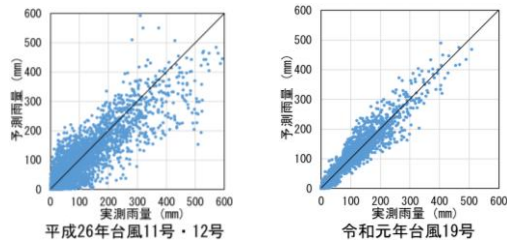


図1 精度検証イメージ



(a) 降水短時間予報（半減期 1.5 時間，6 時間先予測）



(b) MSM（半減期 24 時間，24 時間先予測）

図2 台風が要因の降雨事例における
実測雨量と予測雨量の関係

するが、図3と同様に実測雨量と予測雨量に差がある結果になっている。このように、大気不安定や梅雨前線の場合には予測が外れているケースが多く、台風の降雨事例に比べて予測精度が安定しない。よって、災害を発生させるような大雨を予測できていない場合があると考えられる。

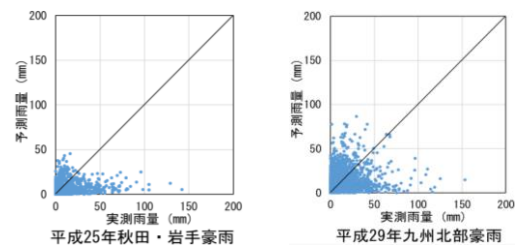
また、検証対象にした4事例の大雨事例では、同じ事例であれば降水予報モデルが変わっても予測雨量と実測雨量のばらつきに大差がなく、事例が異なるとばらつき具合が大きく変化する。このことから、予測精度を左右するのは、降水予報モデルの違いより、大雨の原因の違いによるところが大きいということが示唆される。

4.2 統計指標による解析結果

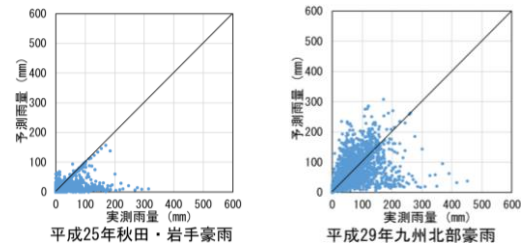
(1) 台風の場合

令和元年台風19号による大雨について、半減期 1.5, 6, 24 時間実効雨量について、7 種類の予測モデルごとに統計指標とした回帰係数、相関係数、総雨量比、RMSE を算出し、予測雨量の精度を比較した。図4には、半減期 6 時間実効雨量の場合を示す。なお、半減期 1.5, 24 時間実効雨量の場合は図示を省略した。また、令和元年台風19号は、検証対象降雨の中で唯一、7 種類すべての降水予報モデルの検証を行うことができた事例である。

図4によると、回帰係数は、いずれの降水予報モデルにおいても1に近い値を示し、予測雨量と実測雨量がほぼ同じといえる。相関係数では、いずれの予報モデルでも高い相関がみられ、84 時間先まで予測する GSM ガイダンスにおいては予測先時間が長い場合でも高い相関を維持していた。総雨量比では、降水 15 時間予報と GSM ガイダンスで他の予報モデルよりも若干の過大傾向がみられたが、その他の予報モデルは1に近い値を示した。RMSE では、全ての予報モデルにおいて予測先時間が長くなるにつれて値が大きくなる傾向がみられ、降水 15 時間予報では格子間隔が 5km で解像度が高いモデルであるにも関わらず、他の予報



(a) 降水短時間予報（半減期 1.5 時間，6 時間先予測）



(b) MSM（半減期 24 時間，24 時間先予測）

図3 前線や大気不安定が要因の降雨事例における
実測雨量と予測雨量の関係

モデルよりも誤差が大きい傾向がみられた。なお、図示を省略した半減期 1.5, 24 時間実効雨量においても、同様の傾向がみられた。

これらの結果から、令和元年台風19号による大雨は、格子間隔が 20km で解像度が比較的粗い GSM ガイダンスでも一定の予測精度があることが分かった。これは、台風は水平距離が数百～千 km の総観規模の寿命が長い気象現象で、降雨の時間スケールと空間スケールが大きい気象現象であることに起因すると推察される。

(2) 前線や大気不安定の場合

前線による大雨事例である平成29年九州北部豪雨について、令和元年台風19号による大雨事例と同様に統計指標を用いて予報モデルごとの予測精度を比較した（図5）。なお、平成29年九州北部豪雨は、5 種類の降水予報モデルで検証を行うことができる事例である。

回帰係数は、いずれの予報モデルも1より小さい値を示し、予測先時間が長くなるにつれて急激に小さくなる傾向にあった。つまり、予測先時間が長くなるにつれて顕著な過小予測となる。なお、降水短時間予報の結果が最も良かった。相関係数でも、予測先時間が長くなるにつれて相関が急激に悪くなる傾向がみられた。総雨量比では、84 時間先まで予測する GSM ガイダンスが時間の経過とともに急激に小さくなるのに対して、他の予報モデルは1前後を維持していた。RMSE では、全ての予報モデルで予測先時間が長くなるにつれて値が大きくなる傾向が見られ、予測誤差が急激に大きくなる。また、LFM については、格子間隔が 2km で解像度が高いモデルであるにも関わらず、6 時間先予測では最も誤差が大きい結果となっている。なお、図示を省略した半減期 1.5, 24 時間実効雨量においても、同様の傾向がみられた。このように、前線による大雨事例である平成29年九州北部豪雨では、予測先時間が長くなるにつれて予測精度が急激に悪化する。前線や大気不安定

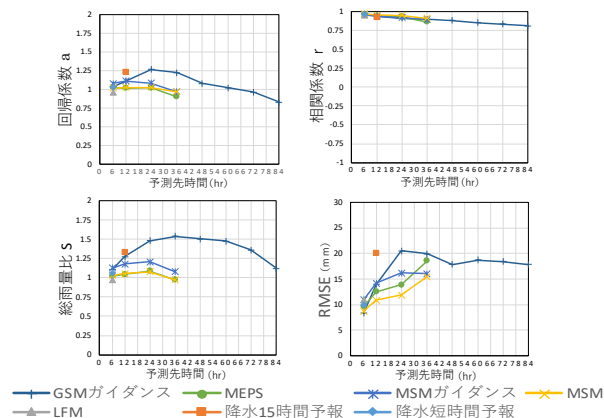


図4 令和元年台風19号 半減期6時間の
検証結果における統計指標

表3 降水予報モデルの特徴

降水予報モデル	解析から得られた結果
降水短時間予報	精度は良く、局地的な降雨も比較的予測可能
降水15時間予報	他の予報モデルと比べ、 予測の過大傾向がみられる
LFM	相関係数は良いが、 雨量値の誤差(RMSE)が大きい事例が多い
MSM	平均的な精度
MSM ガイダンス	平均的な精度
MEPS	平均的な精度
GSM ガイダンス	台風以外の予測は過小傾向

のような中規模擾乱では、それを構成する積乱雲等の水平距離が10km程度であり、格子間隔が20kmのGSMガイダンスでは個々の積乱雲をうまく表現できないため、精度が低くなっていると考えられる。また、予測先時間が6時間先までは、いずれの予報モデルも同じような値となっており、予報モデルの解像度の良し悪しによる大きな差は見られない。このことから、前線による局地的大雨のような予測しづらい気象現象の際は、必ずしも解像度の高い予報モデルほど予測精度が高いとは限らないことを示している。

以上の解析で得られた降水予報モデルの予測精度の特徴を表3に示す。予測精度は、降雨事例により多少の差異はあるが、格子間隔が狭く解像度の高い予報モデルは、大雨の原因によらず精度は比較的高い傾向にあった。また、解像度が粗い予報モデルは、前線や大気不安定の事例では予測先時間が長くなるにつれて精度が急激に悪くなり、予測雨量の過小傾向がみられた。

5. まとめ

本研究では、過去に発生した激甚災害級の降雨事例を対象に、降水予報モデルの数時間～数日先までの予測降水量と、雨量計で観測された降水量の実測値とを比較して、降水予報モデルにおける予測降水量の精度検証をおこなった。得られた結果は以下のようにまとめられる。

(1) 降雨要因別に見た予測雨量の精度

実測雨量と予測雨量の差異は、台風による降雨事例では大きな差がない場合が多く、比較的高い予測精度が高い一方、前線や大気不安定により局地的な大雨が発生した事例では、差があるケースが多く、予測精度が低い傾向がみられた。

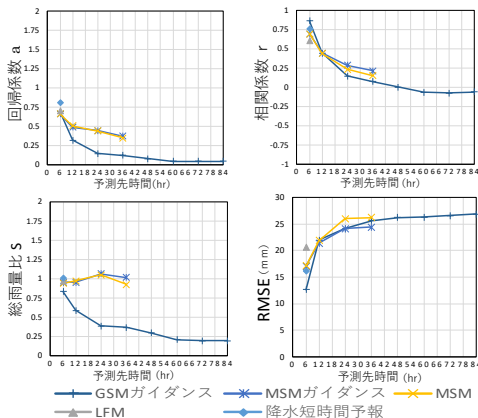


図5 平成29年九州北部豪雨 半減期6時間の
検証結果における統計指標

なお、検証対象にした4事例の大雨事例では、予測精度を左右するのは降水予報モデルの違いより、大雨の原因の違いによるところが大きいということが示唆された。

また、半減期が長い実効雨量ほど予測雨量の予測精度が安定している。これは、実効雨量の半減期が長いほど、降水量の時間スケールが大きくなることが予測精度に影響していると考えられる。

(2) 降水予報モデル別にみた予測雨量の精度

今回の検証では、降水短時間予報などの格子間隔が狭く解像度の高い予報モデルは、大雨の原因によらず精度は比較的高い傾向にあった。なお、令和元年台風19号による大雨では、解像度が比較的高い一方で予測先時間の長いGSMガイダンスでも一定の予測精度があることが分かった。また、前線による大雨事例である平成29年九州北部豪雨では、いずれの予報モデルも予測先時間が長くなるにつれて予測精度が急激に悪化する傾向がみられた。

なお、いずれの予報モデルも、6時間程度の近い予測先時間の予測精度に顕著な差はみられない。これは、局地的大雨のような予測しづらい気象現象の際は、必ずしも解像度の高い予報モデルほど予測精度が良いとは限らないことが示唆される。

本研究では、降水予報モデルの配信時刻の遅れは考慮せずに検証を行った。予測結果は実際には初期時刻から30分～4時間程度の遅れをもって配信される。したがって、より適切な計画運休の実施判断への活用のために、配信遅れ時間も考慮した上で精度検証を実施する必要がある。また、今回は4件の激甚災害級の大雨事例を用いて予測精度検証を行ったが、今後は、他の大雨事例でも検証をおこない、より多くのデータを収集した上で、降水予報モデルの特徴を分析する必要があると考えている。

参 考 文 献

1) 鈴木修, 島村誠: 実効雨量による列車運転規制基準の開発と導入, 鉄道力学論文集, No.13, pp.200-203, 2009
2) 気象庁: 気象庁情報カタログ, <https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/catalogue/catalogue.html>